

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ CoCrFeNiMnC_x

Юрченко Н.Ю.

Руководитель – профессор, доктор технических наук Салищев Г.А.
Лаборатория объемных наноструктурных материалов, Белгородский
государственный национальный исследовательский университет
(НИУ «БелГУ»), г. Белгород
yurchenko_nikita@bsu.edu.ru

Было проведено исследование структуры и свойств высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeNiMnC_x ($x=0; 0,05; 0,1; 0,175; 0,25$ ат.%) в литом состоянии и после отжига при температуре 800°C . В литом состоянии сплавы имеют дендритную структуру, а в сплавах с содержанием углерода 0,175 и 0,25 ат.% наблюдаются первичные карбиды. Показано, что отжиг в течение 14 часов при $T=800^\circ\text{C}$ приводит к увеличению твердости в сплавах с содержанием углерода 0,1 – 0,25 ат.% и уменьшению параметра кристаллической решетки, обусловленному выделением дисперсных карбидов.

В последнее время проявляется повышенный интерес к так называемым высокоэнтропийным сплавам (ВЭСам), концепция которых была предложена около 10 лет назад Yeh[1]. На сегодняшний день довольно полно исследованы свойства твердорастворных однофазных сплавов на основе систем CoCrFeNi и CoCrFeNiMn . Данные сплавы обладают высокой пластичностью и низкой прочностью. Одним из способов повышения прочностных свойств таких сплавов может быть легирование, приводящее к выделению частиц второй фазы. Особый интерес вызывает возможность создания таких сплавов, в которых процессы выделения и растворения частиц можно будет контролировать посредством термической обработки, т.е. термоупрочняемых ВЭСов. С данной целью в настоящей работе было изучено влияние легирования углеродом на структуру и свойства сплава CoCrFeNiMn . Стоит отметить, что данные о легировании ВЭСов элементами внедрения на настоящий момент практически отсутствуют.

По данным, полученным с помощью рентгеноструктурного анализа (РСА), сплавы с содержанием углерода 0, 0,05 и 0,1 ат.% представляют собой однофазный твердый раствор на основе гранцентрированной кубической решетки (ГЦК) с параметром a , равным $3,592 \pm 0,001$, $3,597 \pm 0,001$ и $3,601 \pm 0,001$ Å, соответственно. В свою очередь, на рентгенограммах сплавов с большим содержанием углерода (0,175 и 0,25 ат.%) наблюдаются пики от карбидов типа M_7C_3 . Параметр решетки a для сплавов с 0,175 и 0,25 ат.% C составляет $3,605 \pm 0,001$ и $3,606 \pm 0,003$ Å, соответственно.

Из данных, полученных с использованием растровой электронной микроскопии (РЭМ), следует, что в исходном литом состоянии все сплавы

имеют дендритную структуру. Дендриты обогащены хромом, кобальтом, железом и углеродом, а междендритные области - марганцем и никелем. В сплавах с содержанием углерода 0,175 и 0,25 ат.% можно также наблюдать первичные карбиды крупного размера, расположенные преимущественно в междендритных областях.

Значения микротвердости растут с увеличением содержания углерода в сплаве. Так, сплав CoCrFeNiMn имеет микротвердость $158 \pm 5 \text{ HV}$, а сплав с 0,05 ат.% C - $173 \pm 3 \text{ HV}$. Для сплавов с содержанием углерода 0,1 - 0,25 ат.% значения микротвердости равны $205 \pm 7 \text{ HV}$, $242 \pm 4 \text{ HV}$, $273 \pm 11 \text{ HV}$, соответственно.

По данным РСА сплавы с 0 и 0,05 ат.% C после отжига при $T=800^\circ\text{C}$ в течение 14 часов остаются однофазными. На рентгенограмме сплава CoCrFeNiMnC_{0,1} появляются пики от карбидов типа M_7C_3 и M_{23}C_6 . В сплавах с содержанием углерода 0,175 и 0,25 ат.% также наблюдается появление пиков от карбидов типа M_{23}C_6 . Во всех сплавах с углеродом отмечается уменьшение параметра кристаллической решетки, по сравнению с исходным литым состоянием, до значений $3,591 - 3,594 \text{ \AA}$.

Исследование образцов сплавов после отжига при $T=800^\circ\text{C}$ в течение 14 часов с помощью растрового электронного микроскопа показало, что структуры сплавов с 0 и 0,05 ат.% C не претерпевают каких-либо изменений, по сравнению с исходным литым состоянием. Структура сплавов с большим содержанием углерода (0,1 - 0,25 ат. %) также остается дендритной, однако, в данных сплавах наблюдается появление мелкодисперсных карбидов, выделяющихся преимущественно в междендритных областях, а также в виде дискретной сетки по границам зерен. Химический состав дендритов и междендритных областей после отжига практически не изменяется, по сравнению с исходным литым состоянием.

Полученные значения микротвердости свидетельствуют о том, что отжиг при $T=800^\circ\text{C}$ в течение 14 часов не оказывает какого-либо влияния на твердость сплавов с 0 и 0,05 ат.% C. В то же время в сплавах с 0,1-0,25 ат.% C наблюдается значительное упрочнение. Так, микротвердость сплава с содержанием углерода 0,1 ат.% после отжига повысилась до $241 \pm 8 \text{ HV}$, сплава с 0,175 ат.% C – до $293 \pm 10 \text{ HV}$ и сплава с 0,25 ат.% C – до $290 \pm 17 \text{ HV}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. J.-W. Yeh, S.-K. Chen, S.-J. Lin, J.-Y. Gan, T.-S. Chin, T.-T. Shun, C.-H. Tsau, S.-Y. Chang, Adv. Eng. Mater. 6 (8) (2004) 299–303.